

Application Note

USB Type-C 配置通道 (CC) 控制器选择指南

Vishesh Pithadiya

摘要

本应用手册讨论了 USB Type-C 和 USB Type-C 配置通道 (CC) 的基础知识。然后深入介绍了 TI 提供的 CC 设计以及每款器件的典型用例。

内容

1 简介.....	2
2 详细说明.....	8
3 总结.....	10
4 参考资料.....	11

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 简介

常见术语和定义

表 1-1. 常见术语和定义

术语	定义
差分信号	使用一对传输线路传输的信号。发送器使用一对导线上的两个互补、极性相反的信号发送数据。接收器使用这些互补信号的差异来解释数据。
共模电压	链路的直流空闲电压。共模电压是未传输任何数据时链路的电压
直流耦合	直流耦合是指链路的共模电压可以为非零值的情况。
交流耦合	交流耦合是指链路的共模电压为 0V 的情况。这通常使用交流耦合电容器阻断直流电压来实现。
全双工	在单个通道上进行双向通信
半双工	通过两个通道在两个方向上进行单向通信
GBPS	千兆位每秒。
CC	配置通道
MUX	多路复用器
源端	数据/电力从源端发送。
灌电流	数据/电力由接收端接收。
DFP	下行端口
UFP	上行端口
DRP	双角色端口
CC 控制器	CC 控制器用于配置 USB Type C 链路的方向和电源功能。
PD 控制器	电力传输控制器。此类控制器通常集成 CC 控制器的功能和 PD 功能 (例如高功率功能和 USB Type-C 交替模式)。
PHY	物理层。该层包括接口所需的所有硬件连接。
AEQ Q100	汽车认证规范
try.SNK	USB Type-C 状态机中的一种状态, 允许 DRP 优先用作接收端
try.SRC	USB Type-C 状态机中的一种状态, 允许 DRP 优先用作源端

什么是 USB ?

通用串行总线 (USB) 是一种串行协议, 允许在 USB 主机与 USB 器件之间进行通信。该协议最初于 1996 年推出, 如今是世界上广受欢迎的通信协议之一。USB 可用于从手机到电动汽车的各种应用。自 1996 年以来, 对该协议规格进行过多次更新与改进, 因而广受欢迎。如表 1 所示, 目前使用的 USB 的主要版本包括 USB 2.0、USB 3.2 和 USB 4。

注意: USB3.2 是包含 USB 3.0 (USB 3.2 第 1 代) 和 USB 3.1 (USB 3.2 第 2 代) 的统称协议

表 1-2. 主要 USB 版本及相关数据通信速度

USB 版本			符号	数据速率
USB 2.0	LS	低速		1.5Mbps
	FS	全速		12Mbps
	HS	高速		480Mbps
USB 3.2	第 1 代	SuperSpeed		5Gbps
	第 2 代	SuperSpeed 10Gbps		10Gbps
	Gen 2x2	SuperSpeed 20Gbps		20Gbps
USB 4				40Gbps

USB 的最新版本始终向后兼容上一个迭代。这意味着支持最新版本 (通信速度为 40Gbps 的 USB 4) 的 USB 端口, 也需要支持最早版本 (低速通信速度为 1.5Mbps 的 USB 2.0) 。

当 USB 从 USB2 转换为 USB3.x 时, USB 端口的物理特性发生了重大变化。

- 在 USB2.0 速度下, 所有通信都发生在利用半双工通信的单个直流耦合差分对之间。(在单个通道上进行双向通信)
- 在 USB3.2 及后续版本中, 通信发生在两个支持全双工通信的交流耦合差分对之间。(在两个通道上进行单向通信)

USB 规格还定义了与 USB 协议相关的标准连接器。下图重点展示了不同的 USB 连接器和封装 :

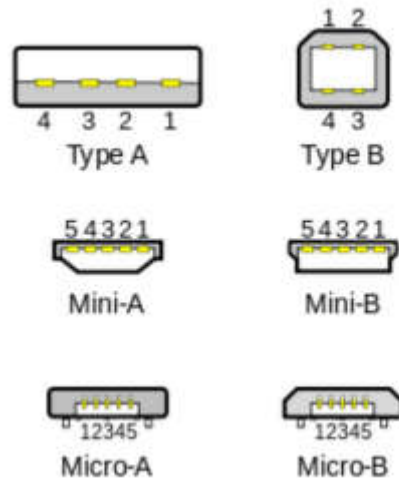


图 1-1. 典型 USB 2.0 连接器类型

有关更多详细信息, 请访问此处的 USB 网站链接 : <https://www.usb.org/documents>

什么是 USB Type-C ? 它与之前的 USB 规格有何不同 ?

标准 USB 2.0 Type-A 连接器以 y 轴为对称轴, 因此只能将 USB 连接器朝一个方向插入插座。USB 2.0 连接器有 4 个引脚。

- Vbus (5V 电源)
- D+ (差分信号的正数据输入/输出)
- D- (差分信号的负数据输入/输出)
- GND (接地连接)

下图展示了标准 USB 2.0 Type-A 连接器的引脚排列外观。

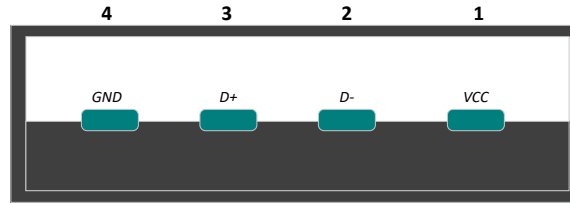


图 1-2. USB 2.0 Type-A 引脚排列

在全双工 USB 3.2 协议的实现方案中，需要将一些引脚添加到 USB 连接器。增加的差分对 SSTX 和 SSRX 可实现高速通信，同时保留 D+ 和 D- 引脚以实现向后兼容。标准 USB 3.2 Type-A 连接器的示例如图 1-3 所示。

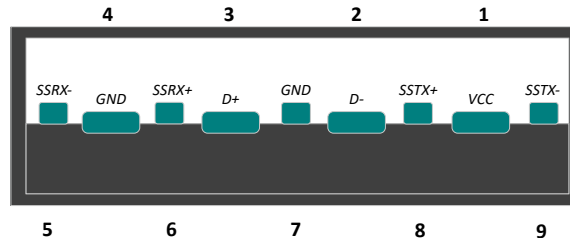


图 1-3. USB 3.2 Type-A 引脚排列

USB Type-C 是一种跨 x 轴和 y 轴对称的物理连接器类型，这意味着可插入插座的电缆有两个方向。无论电缆方向如何，USB 器件均需要正常工作；因此，Type-C 引脚排列包括每个引脚的重复引脚。USB-C 插座中的重复引脚如图 1-4 所示

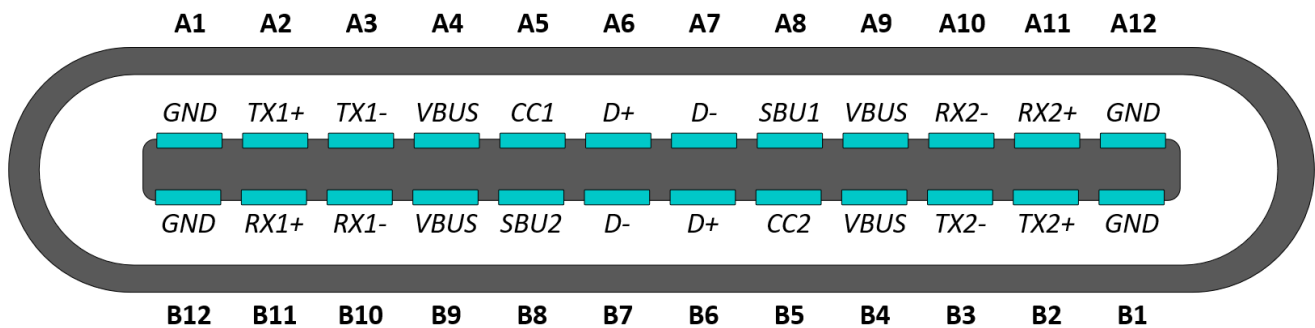


图 1-4. USB Type-C 引脚排列

Type-C 插座的引脚 A5 和 B5 为配置通道 (CC) 引脚。

配置通道 (CC) 是如何在 USB Type-C 中实现的？

CC 协商是 USB Type-C 枚举的初始步骤之一。CC 协商有三重目的：

1. 确定 USB Type-C 连接器的朝向
2. 在主机和器件之间协商源端和接收端功能
3. 在交替模式和调试模式下相应配置系统

USB Type-C 控制器的朝向通过测量 CC 引脚的共模电压来确定。USB Type-C CC 连接的标准表示如下所示。

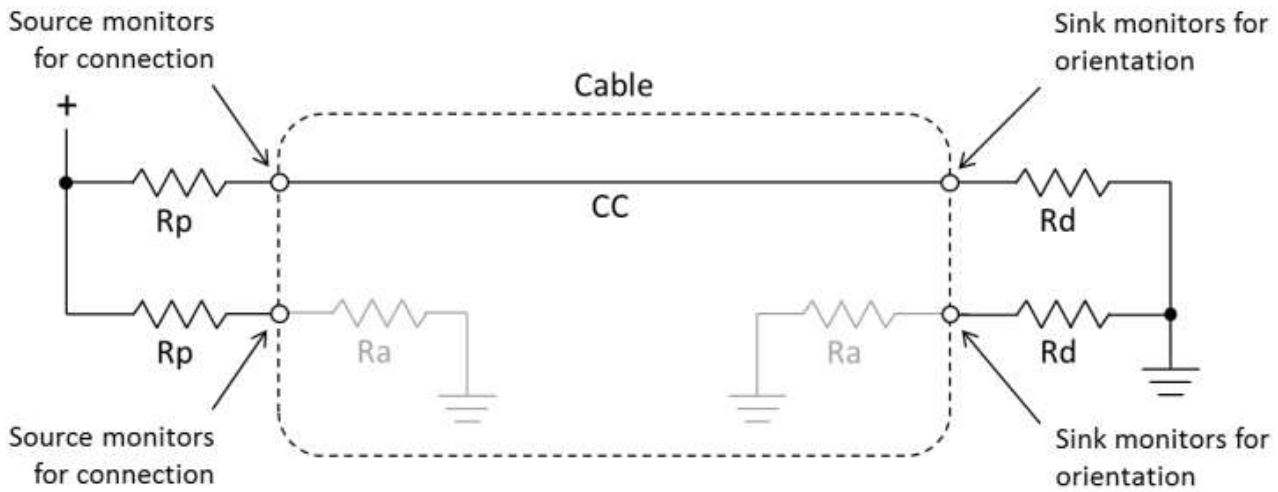


图 1-5. USB Type-C 上拉/下拉 CC 模型

在此图中，我们看到源端在 CC1 和 CC2 上接有上拉 (PUP) 电阻器，这些电阻器定义为 R_p 。接收端在 CC1 和 CC2 上接有下拉电阻器 (PDOWN)，这些电阻器定义为 R_d 。 R_a 是电缆内部的电阻器，用于端接未使用的 CC 引脚。当使用 USB Type-C 电缆连接源端和接收端口时，我们可以看到其中一个 CC 通道被连接起来，形成一个分压器网络。

源端和接收端都在监测 CC 引脚上的电压。没有连接时，源端的 CC 电压为 3.3V。建立连接后，CC 电压降至 3.3V 以下，源端便知道有接收端连接。同样地，没有连接时，接收端的 CC 电压为 0V。建立连接后，CC 电压升至 0V 以上，接收端便知道有源端连接。

需要明确的是，源端有两个上拉电阻器 (R_p)。接收端有两个下拉电阻器 (R_d)。USB Type-C 电缆的四个引脚上均有一个弱下拉电阻器 (R_a)。插入 USB Type-C 电缆时，一对 R_a 和 R_d 形成连接。此连接决定了 USB 连接的朝向。

- 如果在 CC1 上检测到电压变化，则端口判断连接为正插朝向。如果在 CC2 上检测到电压变化，则端口判断连接为反插朝向。这就是使用配置通道确定 USB Type-C 连接器朝向的方式。

接收端的下拉电阻值在所有 USB Type-C 中是相同的。但是，可以调节源端的上拉电阻值，以改变 DFP 与 UFP 之间的 CC 引脚共模电压。

DFP 上拉电阻器的不同阻值会导致 CC 连接产生不同的共模电压。这个可调的共模电压范围用于确定连接的功率。下图展示了用于广播 900mA、1.5A 和 3A 模式的电阻值。

Source Advertisement	Current Source to 1.7 - 5.5 V	Resistor pull-up to 4.75 - 5.5 V	Resistor pull-up to 3.3 V ± 5%
Default USB Power	80 μ A ± 20%	56 k Ω ± 20% (Note 1)	36 k Ω ± 20%
1.5 A @ 5 V	180 μ A ± 8%	22 k Ω ± 5%	12 k Ω ± 5%
3.0 A @ 5 V	330 μ A ± 8%	10 k Ω ± 5%	4.7 k Ω ± 5%

Note 1: For R_p when implemented in the USB Type-C plug on a USB Type-C to **USB 3.1** Standard-A Cable Assembly, a USB Type-C to **USB 2.0** Standard-A Cable Assembly, a USB Type-C to **USB 2.0** Micro-B Receptacle Adapter Assembly or a USB Type-C captive cable connected to a USB host, a value of 56 k Ω ± 5% *shall* be used, in order to provide tolerance to IR drop on VBUS and GND in the cable assembly.

Note 2: Each value above is the total current or resistance into the Source CC pin including all leakage and parallel resistance.

图 1-6. 用于 CC 功率协商的 R_p 电阻值

R_p 的这些不同电阻值会为 CC 分压器网络产生不同的共模电压范围。图 4 中的电阻值与图 5 中定义的电压直接相关。下表中定义的电压是 USB 源端的检测阈值。

	Minimum Voltage (V)	Maximum Voltage (V)
Connect Threshold $v_{CCRes-Rd-USB}$	0.272	1.32 ⁽²⁾
Disconnect Threshold² - v_{Rd-USB}	1.321	2.93 ⁽⁴⁾
Connect Threshold $v_{CCRes-Rd-1.5}$	0.713	1.32 ⁽²⁾
Disconnect Threshold¹ - $v_{Rd-1.5}$	1.440	2.44 ⁽⁴⁾
Connect Threshold $v_{CCRes-Rd-3.0}$	0.88 ⁽²⁾	2.155
Disconnect Threshold¹ - $v_{Rd-3.0}$	2.308	2.66 ⁽⁴⁾
$v_{CCRes-Ra-USB}$	0 ⁽³⁾	0.143
$v_{CCRes-Ra-1.5}$	0 ⁽³⁾	0.299
$v_{CCRes-Ra-3.0}$	0 ⁽³⁾	0.617
Threshold between $v_{CCRes-Rd-USB}$ and $v_{CCRes-Ra-USB}$	0.144	0.271
Threshold between $v_{CCRes-Rd-1.5}$ and $v_{CCRes-Ra-1.5}$	0.300	0.712
Threshold between $v_{CCRes-Rd-3.0}$ and $v_{CCRes-Ra-3.0}$	0.618	0.879
Note 1: Disconnect threshold should take v_{Offset} into account. $v_{Offset} = 0.25$ V is assumed here.		
Note 2: Result is from the voltage clamp variance.		
Note 3: Per Note 1 of Table 4-29, R_a minimum impedance may be less than $R_a(\min)$ when V_{CONN} is <i>not</i> applied.		
Note 4: Considers <i>zOPEN</i> minimum.		

图 1-7. 5V PUP CC 模型的 CC 共模电压检测阈值

我们可以观察到 CC 的分压器网络可以确定连接的朝向和功率。我们还可以观察到，在使用 CC 网络确定功率时，只有三种功率模式可用。

- 5V/ 900mA (4.5W)
- 5V/ 1.5A (7.5W)
- 5V/ 3A (15W)

但我们知道，USB Type-C 充电器可以实现 50W 以上的充电功率。这是如何做到的？任何超过 15W 的功率协商都需要使用 PD 控制器。有关这些器件的更多信息，可在[此处](#)查阅。

USB Type-C 配置通道 (CC) 的第三项功能是将系统适当配置为交替模式和调试模式。交替模式配置还需要一个 PD 控制器通过 CC 线路进行通信，该功能不在本文档中讨论。

USB Type-C 支持多种调试模式，适用于广泛的测试场景。这些模式是可选的，并非所有 USB 系统都必须支持它们。图 1-8 展示了 USB 源端存在的端接方式以及相关的调试和附件模式。

CC1	CC2	State	Position
Open	Open	Nothing attached	N/A
Rd	Open	Sink attached	①
Open	Rd		②
Open	Ra	Powered cable without Sink attached or for <i>Liquid Corrosion Mitigation Mode</i> attached (Appendix A)	①
Ra	Open		②
Rd	Ra	Powered cable with Sink, <i>VCONN-Powered Accessory (VPA)</i> , or <i>VCONN-Powered USB Device (VPD)</i> attached	①
Ra	Rd		②
Rd	Rd	<i>Debug Accessory Mode</i> attached (Appendix B)	N/A
Ra	Ra	<i>Liquid Corrosion Mitigation Mode</i> attached (Appendix A)	N/A

图 1-8. 预期 CC 端接方式及相关调试模式

2 详细说明

本文档的这一节介绍了 USB 团队 CC 控制器产品组合所包含的产品，以及有助于器件选择的关键区分标准。

CC 控制器产品组合主要有四个产品系列和三代器件。图 2-1 直观展示了各产品系列及世代。

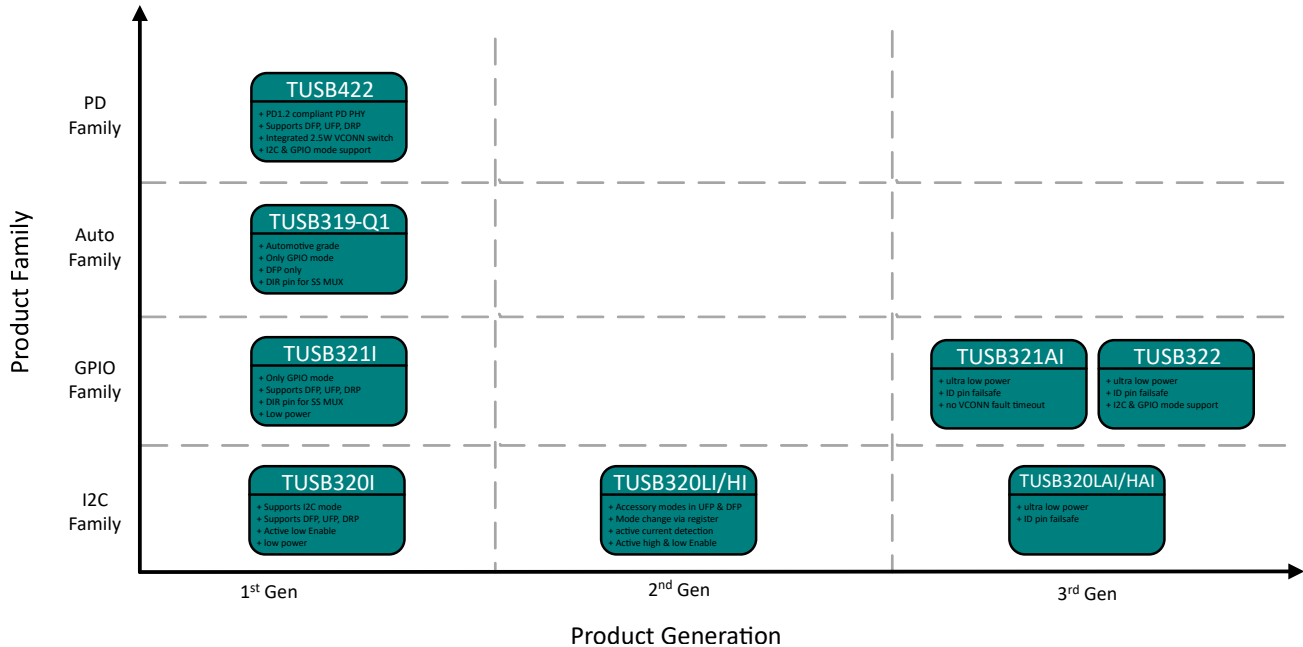


图 2-1. TI 当前的 CC 控制器产品组合

四个产品系列可根据以下标识符进行划分：

1. PD 系列：此系列产品支持 PD PHY。此系列仅有 TUSB422 一款器件，其发布时完全符合 PD 规范 1.2 版本要求。如需了解更新的 PD 产品，请联系 TI 的 PD 控制器团队。
2. 汽车系列：符合 AEQ Q100 标准的产品系列。此产品系列仅有 TUSB319-Q1 一款器件。这是一款仅支持 DFP 的 CC 控制器。
3. GPIO 系列：此产品系列专为 GPIO 应用而设计。所有器件均设计有外部 DIR，用于控制 USB 超高速 MUX。这些器件非常适合 USB Type-C 系统的 USB 3.x 应用。此产品系列包含三款器件：TUSB321I、TUSB321AI 和 TUSB322I。
4. I2C 系列：此产品系列专为 I2C 和 GPIO 应用而设计。这些产品没有外部 DIR 引脚，因此设计为在 GPIO 模式下用于 USB 2.0 系统。但在 I2C 模式下，这些器件可用于 USB 2.0 和 USB 3.x 应用。这些器件还提供了灵活的 EN 引脚，该引脚可配置为高电平有效或低电平有效。此系列中的器件包括：TUSB230I、TUSB320LI、TUSB320HI、TUSB320LAI 和 TUSB320HAI。

除四个产品系列外，TI 的 CC 控制器产品组合还可进一步按世代划分。下图重点展示了各代之间的主要变化。请注意，所有三代产品是独立存在的，这意味着推出新一代产品并不意味着老一代产品就会过时。这里未包含 PD 控制器系列，因为 TUSB422 只有一代。

Feature	First Generation		Second Generation		Third Generation				
	TUSB320	TUSB321	TUSB320LI	TUSB320HI	TUSB320LAI	TUSB320HAI	TUSB321A	TUSB322	HD3SS3220
VDD Range	2.7 V–5 V	4.5 V–5.5 V	2.7 V–5.5 V	2.7 V–5.5 V	2.7 V–5.5 V	2.7 V–5.5 V	4.5 V–5.5 V	4.5 V–5.5 V	Dual Supply: 5 V and 3.3 V
Enable Pin	Active Low	N/A	Active Low	Active Low	Active Low	Active High	N/A	Active Low	Active Low
Shutdown Current	0.46 μ A	N/A	0.46 μ A	0.46 μ A	0.37 μ A	0.37 μ A	N/A	0.37 μ A	5 μ A
UFP Active Current	100 μ A	100 μ A	100 μ A	100 μ A	70 μ A	70 μ A	70 μ A	70 μ A	700 μ A
Vconn 1-Watt Support	No	Yes	No	No	No	No	Yes	Yes	Yes
GPIO Mode	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
400-kHz I ² C support	Yes	No	Yes	Yes	Yes	Yes	No	Yes	Yes
UFP-only Support	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes With I2C	Yes
DFP-only Support	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes With I2C	Yes
DRP-only Support	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Cable Orientation through DIR pin to control external MUX	No	Yes	No	No	No	No	Yes	Yes	Yes
Cable Orientation through I ² C register	Yes	No	Yes	Yes	Yes	Yes	No	Yes	Yes
ID pin Fail-Safe	No	No	No	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
VBUS Detection 4 V to 28 V	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Integrated USB 3.1, 2:1 MUX	No	No External using HD3SS3212	No	No	No	No	No External using HD3SS3212	No External using HD3SS3212	Yes

图 2-2. CC 控制器产品组合的代际细分

图 2-3 提供了一个产品选择流程图，使用关键器件特性来简化器件选择。

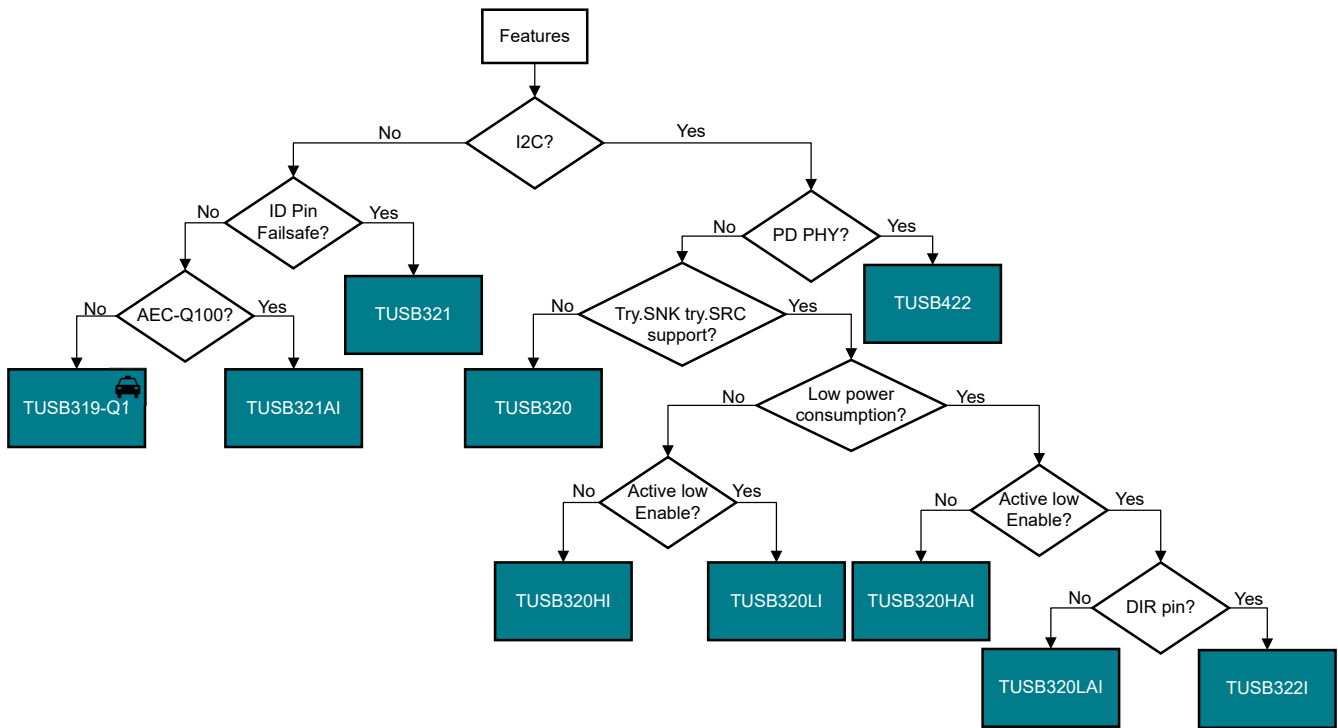


图 2-3. CC 控制器选择流程图

3 总结

CC 控制器产品组合涵盖了 USB Type-C 规范所定义的众多需求。由于覆盖范围已如此广泛，目前没有扩展该产品组合的计划。如果需要更高的功率、交替模式功能或 MCU 功能，请查阅 TI.com 上的 [PD 控制器产品组合](#)。

4 参考资料

1. 德州仪器 (TI), [使用 TI 的产品组合实现 USB Type-C®](#), 应用手册。
2. 德州仪器 (TI), [TUSB32x 和 HD3SS3220 CC 控制器器件的典型应用问题](#), 应用手册。
3. USB, <https://www.usb.org>, 网页。

重要通知和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、与某特定用途的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他安全、安保法规或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的相关应用。严禁以其他方式对这些资源进行复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。对于因您对这些资源的使用而对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，您将全额赔偿，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 销售条款](#)、[TI 通用质量指南](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款或 TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。除非德州仪器 (TI) 明确将某产品指定为定制产品或客户特定产品，否则其产品均为按确定价格收入目录的标准通用器件。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

版权所有 © 2026，德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期：2025 年 10 月